

## ПРЕДИСЛОВИЕ

При изготовлении многих деталей машин и приборов для их окончательной обработки применяют операции с использованием различного абразивного инструмента.

В машиностроении доля металлорежущих станков для абразивной обработки составляет около 21%, а на заводах крупносерийного производства удельный вес станков, работающих с использованием абразивных инструментов, значительно больше: в автомобильной промышленности — до 25%, подшипниковой промышленности — до 55...60% и т. д.

Абразивная обработка широко используется также в авиационной промышленности, инструментальном производстве, радиоэлектронике, часовом производстве и многих других отраслях, например точного машиностроения и приборостроения.

Обработка большой группы важнейших современных материалов (твердые сплавы, керамика, ферриты, стекло, ситаллы, углепластики и др.), а также чистовая обработка различных труднообрабатываемых сплавов (жаропрочных, титановых, высокопрочных, немагнитных и др.) возможна практически только с помощью абразивного и алмазного инструментов.

В связи с прогрессом в технологии формообразования деталей (широкое внедрение штамповки, точного литья и др.) обеспечивается снижение припусков на обработку заготовок резанием. В этом случае вместо лезвийной обработки можно использовать абразивную, что значительно дешевле и производительнее. Так, например, на предприятиях Ford при обработке коленчатого вала имеет место только одна операция с использованием лезвийного инструмента — это фрезерно-центровальная операция. Все остальные выполняются с использованием абразивного инструмента.

В ряде случаев экономически эффективно производить снятие больших припусков с помощью абразивного инструмента. Например, при съеме припусков от 5 до 10 мм успешно применяются крупнозернистые абразивные круги, армированные стекловолокном, работающие при окружной скорости до 100 м/с. Такие круги обеспечивают скорость съема металла при грубом шлифовании до  $500 \text{ см}^3/\text{мин}$ .

Крупнозернистые и крупнопористые круги применяют, например, для обдирки слитков в прокатном производстве, для зачистки отливок в литейных цехах, отрезке прибылей и резке заготовок.

Шлифование является технологией, обеспечивающей получение деталей высокого качества. Характерной чертой развития современного машиностроения является требование постоянного повышения надежности и долговечности современных машин и других механизмов. Этим объясняются непрерывно растущие требования к качеству и эксплуатационным свойствам деталей и узлов машин и механизмов.

Развитие шлифования, появление новых машиностроительных материалов вызывают необходимость более глубокого изучения физической сущности этого процесса и дают возможность постоянно повышать производительность при одновременном улучшении качества поверхностного слоя и повышения точности обработки.

За последние годы шлифовальные инструменты и технологии продолжали развиваться и совершенствоваться. Одним из приоритетных направлений в мировой технологии шлифования является значительное увеличение скоростей резания — с 20...35 до 100...105 м/с, что потребовало специальных конструкций шпиндельных узлов шлифовальных станков и специальных абразивных кругов повышенной прочности, гарантирующих безопасность производства.

Создание новых шлифовальных кругов и станков обусловило широкое внедрение такой прогрессивной технологии, как глубинное фасонное шлифование, отличающееся высокой производительностью при сохранении требуемого качества.

Для реализации высокопроизводительной технологии шлифования необходимо назначить оптимальные режимы резания и характеристики кругов.

Данное учебное пособие содержит все необходимые материалы, позволяющие технологу на современном уровне проектировать операции шлифования, выбирать оборудование и характеристики абразивного инструмента, включая современные способы его правки, и правящего инструмента.

В учебном пособии использованы основные положения и результаты работ в области шлифования многих ученых: А. К. Байкалова, Г. В. Бокучавы, Д. Г. Евсеева, А. В. Королева, З. И. Кремня, С. Н. Корчака, Г. Б. Лурье, Т. Н. Поладзе, Е. Н. Маслова, А. А. Маталина, В. Ф. Макарова, В. А. Носенко, В. М. Оробинского, Ю. Н. Полянчикова, С. С. Силина, Ю. С. Степанова, В. К. Старкова, Л. В. Худобина, А. В. Якимова, П. И. Ящерицына и многих других.

Учебное пособие предназначено для студентов технических специальностей машиностроительных вузов и колледжей. Оно также может быть весьма полезно для технологов-машиностроителей различных отраслей промышленных предприятий.

Авторы выражают искреннюю признательность профессорам В. Ф. Макарову и Ю. Н. Полянчикову, взявшим на себя труд рецензирования учебного пособия и сделавшим ряд ценных замечаний, которые были учтены при доработке рукописи.

# Глава 1

## АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

### 1.1. СВОЙСТВА АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ МАРКИ

В настоящее время для производства абразивного инструмента используют следующие абразивные материалы:

- 1) природные материалы;
- 2) традиционные искусственные материалы — электрокорунд и карбид кремния;
- 3) сверхтвердые материалы (СТМ) — кубический нитрид бора (эльбор) и алмаз.

#### 1.1.1. ПРИРОДНЫЕ АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В настоящее время природные (естественные) абразивные материалы применяются сравнительно редко. Наиболее известные из них: алмаз, корунд, наждак, кремнь и кварц.

**Алмаз природный** — минерал, представляющий собой кубическую аллотропическую полиморфную модификацию элементарного углерода (кристаллизующийся в кубической сингонии) с удельным весом  $3...3,5 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>; имеет наибольшую твердость сравнительно с другими веществами (микротвердость алмаза  $10^5$  МПа, карбида бора  $4 \cdot 10^4$  МПа, карбида кремния  $3,5 \cdot 10^4$  МПа), но сгорает при 860°C. При нагревании до 1200...1500°C без доступа воздуха алмаз переходит в графит. Температура плавления — 3700...4000°C. Алмаз нерастворим ни в кислотах, ни в щелочах, а поэтому устойчив в природных условиях. Он хорошо проводит тепло и плохо — электричество. Часто содержит небольшое количество примесей алюминия, кремния, магния, железа и др. Добывается в коренных (кимберлитовые трубки) и россыпных месторождениях. Лучшим считается его черная разно-

видность — карбонадо (карбонат). Среди технических алмазов различают также борт, баллас и конго. Встречается в виде небольших кристаллов весом от 0,005 карата до нескольких десятков каратов (очень редко) и потому дефицитен и дорог. При высокой твердости прочность его не высока. Если принять прочность  $\sigma_{\text{и}}$  твердого сплава ВК8 за единицу, тогда  $\sigma_{\text{и}}$  быстрорежущей стали Р18 — 2,55, минералоце-рамики ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) — 0,35, алмаза — 0,21. Теплопроводность алмаза почти вдвое больше, чем у ВК8, почти в пять раз по сравнению с Р18 и в 35 раз выше, чем у  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Учитывая весьма низкий коэффициент линейного расширения и высокую жесткость, алмазный лезвийный инструмент обеспечивает большую точность обработки.

Алмаз — наиболее ценный по своим абразивным свойствам минерал. Применяется при обработке разнообразных материалов, в первую очередь твердых неметаллов, включая шлифование и полирование самого алмаза.

Алмазные шлифпорошки состоят из целых кристаллов и их обломков и обозначаются буквенными индексами АК (ГОСТ Р 52370-2005): А — природные алмазы; К — индекс прочности, выраженный в ньютонах. Буквенные обозначения дополняются цифровыми индексами, которые означают:

- после индекса А — содержание изометричных кристаллов и их обломков, выраженное десятками процентов;

- после индекса К — условный показатель прочности зерен алмазного порошка.

Пример условного обозначения шлифпорошка из природных алмазов марки А8К100, зернистостью 500/400: А8К100 500/400 ГОСТ Р 52370-2005.

Алмазные микропорошки состоят из обломков кристаллов, полученных в результате дробления алмазов, и обозначаются буквенным индексом АМ — микропорошки из природных алмазов.

Порошки из природных алмазов используются для изготовления алмазно-абразивного инструмента на металлической и гальванической связках, а также правящего инструмента.

**Корунд природный** — горная порода, состоящая в основном из кристаллической окиси алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (в лучших образцах корунда ее содержится до 95%). Наряду с большой твердостью (~9 по Моосу), уступающей лишь алмазу и карбиду бора, корунд обладает и сравнительно большой вязкостью, что делает его одним из лучших естественных абразивных материалов. Цвет его различный: розовый, бурый, серый и др. Удельный вес в зависимости от примесей колеблет-

ся от 3,93 до 4,0. Используется в виде порошков и паст для доводочных операций, а также для изготовления шлифшкурки.

**Наждак** представляет собой корундовую породу, но загрязненную примесями пирита, хлоритоида и других минералов. Лучшие образцы наждака содержат лишь 60% окиси алюминия и потому уступают корунду по твердости (7,2...7,5 по шкале Мооса) и удельному весу (~3,5). Для получения продукта сравнительно высокого качества природный наждак обогащают, уменьшая количество примесей до 1...2%.

**Гранат** — минерал, представляющий собой ортосиликат нескольких разновидностей. Прозрачные гранаты с различными цветовыми оттенками находят применение для изготовления ювелирных изделий, непрозрачные используют как абразивный материал. Гранаты имеют твердость по шкале Мооса 6,5...7,5. Из шлифзерна и шлифпорошков изготавливают шлифовальные шкурки для обработки дерева, пластмассы и кожи. Микropорошки используют для полирования изделий из стекла. Находит применение в качестве абразивного материала для гидроабразивной резки. Более широкое промышленное использование гранатов как абразивов ограничено в связи со значительной стоимостью.

**Кварц** — один из минералов, состоящих в основном из кристаллического кремнезема (например, кварцевого песка). Твердость кварца по Моосу равна 7. Такой же твердостью обладает и другая разновидность кварцевой породы — **кремнь**, содержащий не менее 96% окиси кремния  $\text{SiO}_2$  и имеющий несколько более острые кромки, чем кварц.

Наждак, кварц и кремнь применяются главным образом для изготовления небольших брусков — оселков для работы вручную, а также шлифовальных шкурок для кожевенной и деревообрабатывающей промышленности. Для производства шлифшкурки из этих материалов используют шлифпорошки и шлифзерно. В виде порошка применяются для обработки мрамора, в пескоструйных аппаратах. Бруски для лекальных слесарных работ и доводки режущих кромок инструментов изготавливаются из микрозернистой разновидности кремнистых пород (байкалита).

**Пемза** — тонкопористый продукт вулканического происхождения. Это быстрозастывшая насыщенная газообразными веществами лава. Состав пемзы непостоянен. Основным компонентом ее обычно является кремнезем (60...70%). В ее составе имеются окислы металлов, придающие пемзе различную окраску. Пемза — пористый, твердый (по шкале Мооса ~6) и хрупкий материал. Легко измельчается.

Поверхность излома имеет островершинные микронеровности. Эти особенности поверхности позволяют использовать дробленую пемзу в качестве абразивного материала. Применяется для обработки дерева, мягких камней и металлов. В зуботехнической практике употребляется мелкий порошок пемзы.

Необходимо также отметить мягкий и тонкий полирующий материал — **известь** (венская известь), получающуюся обжигом известняка  $\text{CaCO}_3$  и очисткой от примесей песка и глины отмачиванием.

В ограниченных объемах находят применение такие абразивные материалы, как полевой шпат, крокус, мел, тальк, каолин. Их используют для изготовления полировальных паст.

### 1.1.2.

#### ТРАДИЦИОННЫЕ ИСКУССТВЕННЫЕ АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

подавляющее большинство абразивных инструментов изготавливается из искусственных абразивных материалов.

Искусственный корунд, иначе называемый электрокорундом, получил применение как абразивный материал с 1901 г. Изготавливается из электроплавкой породы, содержащей окись алюминия — боксита в смеси с восстановителем (антрацитом или коксом), в дуговых электрических печах. В процессе плавки выделяются примеси, и после затвердевания получается твердая масса корунда в виде блоков с высоким содержанием окиси алюминия (89...99%). Эти блоки разбивают на куски, очищают от металлических включений и размалывают на мельчайшие зерна, отличающиеся большой твердостью и значительной вязкостью.

Применяется электрокорунд следующих видов.

**Электрокорунд белый** — наиболее чистый по химическому составу, содержит 98...99,5% корунда  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Сырьем для выплавки белого электрокорунда является глинозем, представляющий собой окись алюминия с незначительным количеством примесей. Его получают из бокситов, нефелинов, каолинов и других продуктов. Микротвердость —  $(20...22) \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2$ . Характеризуется более острыми и более хрупкими зернами по сравнению с электрокорундом нормальным. Марки — 22А, 23А, 24А, 25А.

**Электрокорунд нормальный** содержит 93...96% корунда, микротвердость  $(18...20) \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2$ . Зерна менее хрупкие, лучше сопротивляются ударным нагрузкам. Марки — 12А, 13А, 14А, 15А, 16А.

**Электрокорунд хромистый** (легированный хромом) двух видов: розовый (содержание хрома  $\leq 0,5\%$ ) и рубиновый (содержание хрома 2...3%). Получают при плавке в электропечах глинозема с добавками хромистой руды. Электрокорунд хромистый обладает повышенной ударной прочностью, и круги из него применяются при более интенсивных режимах шлифования. Марки — 32А, 33А, 34А.

**Электрокорунд циркониевый** (легированный цирконием) обладает значительно (в 5...10 раз) более высокой прочностью, чем все другие виды электрокорунда. При выплавке циркониевого электрокорунда используется смесь глинозема с чистым оксидом циркония или бадделеитовым концентратом. Круги применяются при обдирочном шлифовании проката, отливок, поковок. Марка — 38А.

**Электрокорунд титанистый** представляет собой соединение  $Al_2O_3 + 1,5\% TiO_2$ ; отличается от нормального электрокорунда стабильностью свойств и большей вязкостью. Получают при плавке в электропечах глинозема с добавлением соединений титана. Марка — 37А.

**Электрокорунд хромтитанистый** производят плавкой в электрической дуговой печи глинозема с добавлением легирующих компонентов (оксидов хрома и титана). Обладает повышенной ударной прочностью, круги из него имеют повышенную стойкость и работают при интенсивных режимах шлифования. Круги, как правило, имеют фиолетовый цвет. Марки — 91А, 92А, 93А, 94А, 95А.

**Монокорунд**, обладающий еще более совершенными абразивными свойствами, — разновидность электрокорунда. Он получается из боксита оксисульфидным способом в виде зерна, состоящего из изометричных кристаллов корунда различной величины. Форма зерен монокорунда, в отличие от других электрокорундов, при измельчении сохраняется в виде многогранника различных размеров от 1 до 50 мкм вместо осколков неправильной формы как у других абразивных зерен. Зерна монокорунда отличаются большой прочностью и остротой режущих кромок и вершин, что позволяет им легко врезаться в обрабатываемый материал. Марки — 43А, 44А, 45А.

**Синтеркорунд** — новый электрокорундовый материал. Это химически модифицированный спеченный по специальной золь-гель технологии микроскопический корунд (синтеркорунд). Выпускается за рубежом под различными торговыми марками: Sol-Gel (SG), Cubitron и др. Имеет синий цвет или его оттенки. По своим физико-механическим свойствам синтеркорунд превосходит электрокорунд белый (25А) и приближается к КНБ, оставаясь дешевле последнего и являясь ему альтернативой по результатам обработки. Зерна SG име-



ют кристаллы с размерами 0,2...0,5 мкм, которые в 20...50 раз мельче, чем у электрокорунда 25А. Это обеспечивает работу в режиме умеренного самозатачивания путем обновления новых режущих кромок с минимальным износом. Круги из синтеркорунда лучше работают при больших нагрузках — большие подачи, малые скорости круга. Применение кругов из синтеркорунда позволяет в ряде случаев снизить машинное время обработки и уменьшить расход круга до 50%, а также снизить шероховатость обработанной поверхности. Значительно дороже электрокорунда. Для снижения себестоимости инструмента обычно используются круги из смеси SG с электрокорундом белым в разных пропорциях.

**Сфорокорунд** получают из расплавленного оксида алюминия в виде полых корундовых сфер (плотность  $2,2 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>); содержит небольшое ( $\leq 1\%$ ) количество примесей. Сферические (шарообразные) частицы корунда получают методом раздува сжатым воздухом сливаемого из электропечи расплава оксида алюминия. Абразивные инструменты из сфорокорунда эффективны для обработки труднообрабатываемых материалов (жаропрочных сплавов, нержавеющей стали), а также мягких и вязких материалов (цветных металлов, пластмасс, резины, кожи). Обозначают СЭ.

**Формокорунд** получают методом экструзии высоковязкой водной суспензии глинозема, последующей сушки и спекания при температуре 1700°C. Содержание  $Al_2O_3$  — 80...87%,  $Fe_2O_3$  — не более 1,5%. Частицы имеют цилиндрическую (С) или призматическую (Р) формы сечением 1,2...1,8 мм и длиной 3,8...8,0 мм. Формокорунд используется на тяжелых обдирочных операциях.

**Карбид кремния** (карборунд) получается сплавлением кремнезема и углерода в электропечах сопротивления при весьма высокой температуре. Его открытие относится к 1891 г. С этого же времени было начато и его промышленное производство. Зерна карбида кремния отличаются большой микротвердостью  $(32...35) \cdot 10^3$  Н/мм<sup>2</sup>, имеют острые кромки. Отличается меньшей вязкостью в сравнении с электрокорундом и потому применяется главным образом для обработки материалов с небольшим сопротивлением разрыву (чугуна, бронзы, латуни) и твердых сплавов.

Различаются карбид кремния зеленый (КЗ) и карбид кремния черный (КЧ). Абразивная способность КЗ, имеющего меньше примесей свободного углерода и потому более твердого, выше сравнительно с КЧ примерно на 20%. Подобно электрокорунду, в зависимости от содержания SiC (в %), карбиды кремния маркируются КЧ5-КЧ8 с

содержанием 95...98% SiC и соответственно K36...K39 для зеленого карбида кремния. Марки карбида кремния зеленого — 62C, 63C, 64C; карбида кремния черного — 52C, 53C, 54C, 55C.

**Карбид бора (B<sub>4</sub>C)** — химическое соединение, получаемое восстановлением в дуговых электропечах борного ангидрида углеродом. Отличается высокой твердостью, уступающей только алмазу и кубическому нитриду бора. Твердость по Моосу — 9,32; микротвердость — (40...45)·10<sup>3</sup> Н/мм<sup>2</sup>. Карбид бора является одним из самых химически устойчивых соединений. Не растворяется в концентрированных кислотах и их смесях. На воздухе окисляется, начиная с 500...600°C. Промышленный выпуск начался с 1935 г. Используется в порошках и пастах для доводки изделий из твердых материалов, в первую очередь твердых сплавов. Содержится в наплавочных составах, применяемых для повышения износостойкости изделий.

Абразивные инструменты (круги) изготавливаются также из смеси абразивных материалов: электрокорунда белого и нормального, карбида кремния зеленого и черного. Это делается в основном по экономическим соображениям (цены на материалы разных видов и марок различны) при обязательном выполнении технических требований. Кроме того, сочетание двух разных материалов в ряде случаев позволяет улучшить эксплуатационные показатели инструмента.

Обозначения абразивных материалов разными зарубежными производителями отличаются. В таблице 1.1 приведены обозначения абразивных материалов, используемые основными иностранными производителями абразивных инструментов.

*Таблица 1.1*

**Обозначения абразивных материалов  
зарубежными производителями**

Наименование материала	Марка ГОСТ	Обозначения иностраных производителей
Электрокорунд белый	23A, 24A, 25A	38A, 42A, 89A, 9A, AA, EK
Электрокорунд нормальный	14A, 15A	A, NK
Электрокорунд хромистый (розовый)	—	25A, 57A, 88A, 21A, EKd
Электрокорунд хромистый (рубиновый)	—	86A, 68A, 26A, FF
Электрокорунд циркониевый	38A	ZF, ZS, 28A
Карбид кремния черный	53C, 54C	37C, C, SC
Карбид кремния зеленый	63C, 64C	39C, GC, SCg, 11C, 1C

**СВЕРХТВЕРДЫЕ АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

К сверхтвердым абразивным материалам относятся синтетический алмаз и кубический нитрид бора (эльбор).

**Синтетические алмазы** производятся на ряде предприятий. В 1962 г. синтетические алмазы составляли 8,4% (природные — 91,6%) общего количества технических алмазов, к 1990 г. их доля возросла до 92,4%.

Синтетический алмаз получают из графита в специальных камерах при давлении около  $9,8 \cdot 10^3$  МПа и температуре  $2500 \dots 2700^\circ\text{C}$  (по данным Бриджмена). Состав его, как и естественного алмаза, 99,7% углерода и 0,3% примесей; основная масса синтезируется с размерами зерен  $0,2 \dots 0,4$  мм (реже  $0,6 \dots 1,2$  мм). В последнее время получены синтетические алмазы в несколько миллиметров; природные алмазы встречаются чаще весом  $0,01 \dots 0,4$  карата (один карат равен 0,2 г), реже в 1 карат и более и совсем редко — более 10 карат. Октаэдрические кристаллы с длиной ребра до 550 мкм образуются в течение нескольких минут, с длиной ребра 1 мм — в течение нескольких часов. От температуры зависит форма алмазных кристаллов (кубическая, смешанная кубооктаэдрическая, октаэдрическая, додекаэдрическая) и цвет: от черного при низких температурах до зеленого, желтого, светлого при высоких температурах.

Синтетические алмазы имеют более шероховатую поверхность, меньшие углы заострения режущих кромок и вершин сравнительно с природными алмазами и потому более производительны в качестве абразивного инструмента. Этому способствует и их склонность к расслаиванию. Изменяя режим синтеза, можно создавать материал с заранее заданными свойствами в отношении формы зерен, их геометрии и прочности. Так, у природных алмазов радиус закругления режущей кромки  $\rho$  колеблется в пределах  $2,3 \dots 3,3$  мкм; угол при вершине  $\beta = 73 \dots 84^\circ$ ; у синтетических —  $\rho = 1,1 \dots 2,2$  мкм и  $\beta = 52 \dots 57^\circ$  (у электрокорунда имеет место соответственно  $\rho = 8,5 \dots 1,9$  мкм и  $\beta = 98 \dots 108,5^\circ$ ).

Алмаз является наиболее твердым из всех известных материалов (микротвердость —  $100 \cdot 10^3$  Н/мм<sup>2</sup>), однако он имеет низкую температурную стойкость ( $650 \dots 700^\circ\text{C}$ ) и отличается высоким химическим сродством к железу. Эти недостатки не позволяют эффективно применять алмазные круги при шлифовании сталей. Марки синтетических алмазов, используемых для изготовления шлифовальных кругов, — AC4, AC4M, AC6, AC6M, AC15, AC20, AC32.

**Кубический нитрид бора** (КНБ) — боразон, эльбор (синтетический сверхтвердый материал) — близок по твердости к алмазу и имеет почти вдвое более высокую теплостойкость. Он представляет собой химическое соединение бора (44%) и азота (56%) с кристаллической решеткой с параметрами и строением, близкими к алмазу.

**Гексагональный нитрид бора** — мягкий материал, близкий по структуре (гексагональной) и плотности ( $2,2 \text{ г/см}^3$ ) к графиту, хотя и имеются существенные различия. Графит — хороший проводник электричества, нитрид бора — плохой проводник и является прекрасным изолятором при высоких температурах. Графит — черного цвета, нитрид бора — белый. Но в результате воздействия высоких давлений ( $65 \cdot 10^2 \text{ МПа}$ ) и температуры ( $1700^\circ\text{C}$ ) получаются очень твердые кристаллы кубического нитрида бора (КНБ) с параметрами, подобными алмазу.

Кубический нитрид бора (торговая марка России — эльбор) отличается очень высокой твердостью (микротвердость —  $80 \dots 85 \cdot 10^3 \text{ Н/мм}^2$ ), высокой температурной устойчивостью ( $1100 \dots 1300^\circ\text{C}$ ) и химической инертностью. Комплекс этих свойств делает эльбор уникальным абразивным материалом. Марки эльбора — ЛКВ40, ЛКВ50, ЛКВ40М, ЛКВ50М (индекс М относится к металлизированным порошкам).

Шлифзерна, применяемые за рубежом («Борозон» (США), «Сева Дейко» (Япония), АВN300 (ЮАР)), состоят на  $33 \dots 44\%$  из изометрических монокристаллов, на  $8 \dots 10\%$  из монокристаллов искаженной формы и на  $48 \dots 55\%$  из сrostков.

Отечественное шлифзерно состоит на  $18 \dots 20\%$  из изометрических монокристаллов, на  $26 \dots 30\%$  из монокристаллов искаженной формы и на  $48 \dots 55\%$  из сrostков. Изометрические монокристаллы имеют большую микротвердость, чем монокристаллы искаженной формы и сrostки.

## 1.2. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КРУГОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Физико-механические свойства абразивных материалов (табл. 1.2) определяют области их применения по отношению к обрабатываемым материалам (табл. 1.3).

Таблица 1.2

## Физико-механические свойства абразивных материалов

Материал	Плотность, $10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	Твердость		Микро- твердость, МПа	Термо- стойкость, °C	Прочность, МПа		Абразив- ная спо- собность
		по Моосу	по Риджвею			при изгибе	при сжатии	
Алмаз природный А	3,01...3,56	10	15	100 600	700...900	206...480	1962	1,0
Алмаз синтетический АС	3,48...3,54	10	15	86 000... 101 000	700...900	294,3	1962	0,75...0,77
Кубический нитрид бора КНБ	3,45...3,54	9,8...10	15	73 000... 100 000	1400...1800	—	—	0,58...0,64
Карбид бора КБ (B <sub>4</sub> C)	2,48...2,52	9,3...9,6	14	40 000... 50 000	500...700	294,3	1765,8	0,4...0,6
Карбид кремния	3,16...3,39	9,03...9,15	13	28 500... 36 000	1200...1300	152	1471,5	0,25...0,45
Электрокорунд	3,93...4,16	9,0...9,15	12	18 000... 27 800	1500...1700	85,54	42,6	0,12...0,25

Таблица 1.3

**Применение абразивных материалов  
для шлифования различных групп материалов**

Обрабатываемый материал	Электрокорунд		Карбид кремния	Эльбор	Алмаз
	нормальный	белый			
Углеродистая, низколегированная, незакаленная сталь	+				
Легированная сталь, закаленная:					
черновое шлифование	+	+			
чистовое шлифование				+	
Инструментальная сталь, закаленная		+		+	
Азотированная сталь		+		+	
Быстрорежущая сталь				+	
Нержавеющая сталь:					
незакаленная		+			
закаленная		+		+	
Подшипниковая сталь		+		+	
Жаропрочный сплав		+		+	+
Титановый сплав			+	+	+
Цветные сплавы на основе меди, алюминия			+		
Твердый сплав			+		+
Техническая керамика					+
Стекло					+
Чугун			+		+
Чугун закаленный				+	
Ферриты, магнитные сплавы			+		+
Полудрагоценные камни, синтетические кристаллы					+
Гранит, мрамор, бетон					+
Износостойкие покрытия (плазменные, детонационные и др.)				+	+
Резина, полимеры			+		+

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)